

Variabilidad interanual de la frecuencia de bloqueo en el Hemisferio Norte

María Jesús CASADO CALLE¹, Francisco Javier DOBLAS-REYES² y María Asunción PASTOR SAAVEDRA¹

¹ Instituto Nacional de Meteorología (Madrid)
mjcasado@inm.es, a.pastor@inm.es

² European Centre for Medium-Range Weather Forecasting (Reading, UK)
Francisco.Doblas-Reyes@ecmwf.int

RESUMEN

El objetivo de este estudio consiste en analizar la forma en que los reanálisis del European Centre for Medium-Range Weather Forecasting (ERA-40) y del National Centers for Environmental Prediction (NCEP) representan ciertas características de la frecuencia media de bloqueo atmosférico, incluyendo su variación estacional e interanual, en el Hemisferio Norte durante el periodo 1961-2000. La máxima frecuencia de situaciones de bloqueo se encuentra sobre las regiones pacífica y euro-atlántica en ambos reanálisis. La frecuencia de bloqueo muestra una importante oscilación anual en ambas zonas, así como variabilidad interanual y decadal relacionada con los principales modos de variabilidad del sistema climático. Las diferencias encontradas en la frecuencia de bloqueo de ambos reanálisis se han analizado en el marco de la variabilidad de la circulación atmosférica.

Palabras clave: Variabilidad en baja frecuencia, bloqueo atmosférico, teleconexiones atmosféricas.

Interannual variability of the Northern Hemisphere blocking frequency

ABSTRACT

The aim of this study is to analyze the way ERA-40 and NCEP reanalyses represent some features of the Northern Hemisphere atmospheric mean blocking frequency including its seasonal and interannual variation for the period 1961-2000. The maximum frequency of blocking situations is located over the Pacific and Euro-Atlantic regions. The blocking frequency exhibits a noticeable annual oscillation as well as interannual and decadal variability in both regions, in relationship with the leading modes of variability of the Climate System. The differences found between both reanalyses are analysed in the framework of the atmospheric circulation variability.

Keywords: Low-frequency variability, atmospheric blocking, atmospheric teleconnections.

SUMARIO: 1. Introducción. 2. Datos. 3. Procedimiento de análisis. 4. Resultados. 5. Conclusiones. 6. Agradecimientos. 7. Referencias bibliográficas.

1. INTRODUCCIÓN

La circulación global de la atmósfera terrestre incluye variaciones que poseen un amplio rango de escalas tanto espaciales como temporales. Dentro de la escala de tiempo intraestacional o subestacional (1-90 días) en las latitudes medias se encuadra el fenómeno conocido como bloqueo atmosférico.

La primera definición de bloqueo surgió en el marco de la meteorología sinóptica con los trabajos de Rex (1950). En el momento actual, todavía carecemos de una formulación teórica satisfactoria y universalmente aceptada del bloqueo (Schwierz et al. 2004).

El bloqueo atmosférico se define generalmente como un patrón de flujo de masa de aire anómalo propio de las latitudes medias asociado con una componente meridional de viento intensa que causa una bifurcación de la corriente en chorro (Tibaldi y Molteni 1990; Doblas-Reyes et al. 2002). Es uno de los fenómenos atmosféricos de mayor repercusión en la interrupción de la progresión de aire del oeste a escalas temporales superiores a una semana. Es además un fenómeno determinante en la climatología de una región al influir en las anomalías de precipitación.

El bloqueo despierta un gran interés no sólo desde el punto de vista teórico (Renwick 1996). Su gran complejidad, debida a las interacciones tan intensas que tienen lugar durante su tiempo de vida, explica la dificultad que existe para representarlo correctamente tanto en los modelos numéricos de predicción del tiempo (Tracton 1990; Tibaldi et al. 1994; Tibaldi et al. 1997) como en los modelos climáticos de circulación general (D'Andrea et al. 1998). En cualquier caso, es un factor limitante en el problema de la predicción meteorológica a medio plazo (Tibaldi et al. 1997).

Dentro de este marco conceptual, en el presente estudio pretendemos sintetizar las principales características de la climatología del bloqueo atmosférico a partir de los reanálisis NCEP y ERA-40, prestando especial atención a las diferencias que se obtienen con las dos bases de datos que se discuten.

2. DATOS

El estudio utiliza datos diarios del campo de geopotencial en 500 hPa (12 GMT) procedentes de dos reanálisis, NCEP (National Centres for Environmental Prediction) (Kalnay et al. 1996) y ERA-40 (European Center for Medium Range Weather Forecasting), correspondientes al período 1961-2000 (Uppala 2002) en la región comprendida entre 20°N y el Polo Norte.

Las principales deficiencias en este estudio del reanálisis NCEP es su inhomogeneidad en el tiempo, ya que el modelo utilizado sufrió varios cambios a lo largo de su producción (Pavan et al. 2000).

Las cuatro estaciones del año consideradas en el estudio se han tomado como los períodos de 90 a 92 días desde el 1 de diciembre hasta el 28 de febrero (invierno), desde el 1 de marzo hasta el 31 de mayo (primavera), desde el 1 de junio hasta el 31 de agosto (verano), y desde el 1 de septiembre hasta el 30 de noviembre (otoño).

3. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

Uno de los principales obstáculos que se presentan al estudiar el bloqueo atmosférico en series temporales largas está en la propia definición de bloqueo. Esta incertidumbre

constituye un contratiempo importante que dificulta extraordinariamente la intercomparación de resultados científicos (Doblas-Reyes et al. 2002; Pavan y Doblas-Reyes 2000).

Los métodos de detección del bloqueo se pueden clasificar en objetivos y subjetivos. Los procedimientos objetivos se basan en métodos estadísticos de clasificación de la circulación atmosférica (Vautard 1990). Por otro lado, los métodos subjetivos se basan en la experiencia a escala sinóptica para el diseño de un algoritmo de detección y la calibración de un conjunto de parámetros. En este estudio se ha considerado como índice de frecuencia de bloqueo el índice de bloqueo de Tibaldi y Molteni (1990) para la detección de las situaciones de bloqueo.

Para cada punto de longitud λ y para cada paso de tiempo t se definen los gradientes meridionales de altura de geopotencial sur (GHGS) y norte (GHGN) como:

$$\text{GHGS}(\lambda, t) = [Z(\phi_0, \lambda, t) - Z(\phi_s, \lambda, t)]/(\phi_0 - \phi_s)$$

$$\text{GHGN}(\lambda, t) = [Z(\phi_n, \lambda, t) - Z(\phi_0, \lambda, t)]/(\phi_n - \phi_0)$$

siendo

$$\phi_n = 80^\circ\text{N} - \Delta \quad \phi_0 = 60^\circ\text{N} - \Delta \quad \phi_s = 38.75^\circ\text{N} - \Delta \quad \Delta = m * 2.8^\circ \quad m = -2, 0, 2$$

$Z(\phi, \lambda, t)$ es el valor del geopotencial en la latitud ϕ y longitud λ medido en el paso de tiempo t (Casado et al. 2002). Una determinada longitud se define localmente como bloqueada en un determinado día si al menos para alguno de los 3 valores de ϕ se cumple que $\text{GHGS} > 0$ y $\text{GHGN} < -5\text{m}^\circ/\text{latitud}$.

Dado que el bloqueo es un fenómeno regional, se ha aplicado además un criterio de extensión longitudinal. Esto implica que para cada día una longitud se considera bloqueada si por lo menos cuatro puntos próximos a ella están bloqueados, o si entre cinco puntos incluyendo el de la longitud de estudio, existen cuatro puntos que están bloqueados.

Ya que el bloqueo sinóptico requiere cierta persistencia temporal del fenómeno, se incluye una restricción temporal a la definición del índice utilizado, que consiste en eliminar todas aquellas secuencias de días bloqueados inferiores a 5 días (Pelly y Hoskins 2003; Tibaldi y Molteni 1990). Por último, el ciclo anual se ha eliminado siguiendo el procedimiento descrito por Doblas-Reyes et al. (2002).

4. RESULTADOS

Como se ha apuntado en la introducción de este trabajo se pretende 1) describir la climatología de las situaciones de bloqueo y 2) comparar la representación que se obtiene con ambos reanálisis. Los aspectos sobre los que se centra el análisis son la distribución de la frecuencia media de bloqueo a lo largo del año y la variabilidad interanual de la frecuencia media de bloqueo.

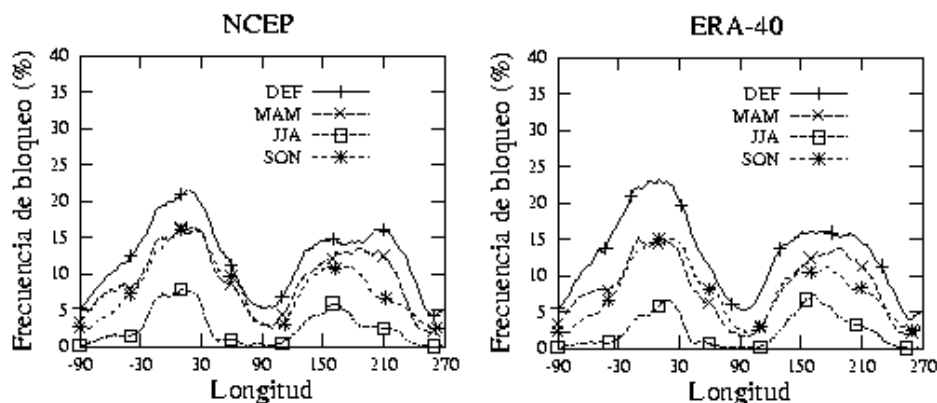


Figura 1. Frecuencia de bloqueo media estacional en el Hemisferio Norte en función de la longitud, a partir de los reanálisis NCEP y ERA-40 (Periodo 1961-2000).

4.1. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA FRECUENCIA MEDIA DE BLOQUEO

Al hacer un diagnóstico del ciclo estacional de la frecuencia media de bloqueo, resulta importante distinguir entre estructuras de bloqueo instantáneo y episodios de bloqueo reales persistentes en el tiempo. En este estudio nos centramos en aquellos episodios de bloqueo para los que se requiere cierta persistencia temporal del fenómeno, como se ha comentado en la sección 3.

La Fig. 1 muestra los diagramas de las frecuencias de bloqueo medias estacionales para los reanálisis NCEP y ERA-40. La frecuencia media de bloqueo se calcula como el cociente del número de días bloqueados en una longitud determinada respecto al número total de días de la estación. Las frecuencias máximas alcanzan valores superiores al 15% al considerar toda la región del Hemisferio Norte (>20% para el Atlántico y Europa).

Se observan claramente dos regiones distintas de bloqueo en el Hemisferio Norte. La primera región se sitúa en el Atlántico Norte y Europa; la segunda región, de menor extensión, se halla en la parte oriental del Pacífico Norte y la costa oeste de América del Norte.

La frecuencia de situaciones de bloqueo muestra una marcada evolución estacional dependiendo de la región considerada. La actividad de bloqueo en el sector euro-atlántico es más elevada en invierno y alcanza su mínimo en verano, siendo muy similar en primavera y otoño. En el sector pacífico a partir de los 150°W, la actividad en primavera es mayor que en otoño, estando el máximo desplazado hacia los 170°E.

Los ciclos anuales de actividad del bloqueo dependen de las variaciones regionales y estacionales en la intensidad de la corriente en chorro, la actividad sinóptica y los patrones de ondas estacionarias (Pelly y Hoskins 2003). Sin embargo, las ondas estacionarias resultan ser las más estrechamente relacionadas con la variabilidad de la frecuencia de los episodios de bloqueo. Las ligeras diferencias entre los reanálisis

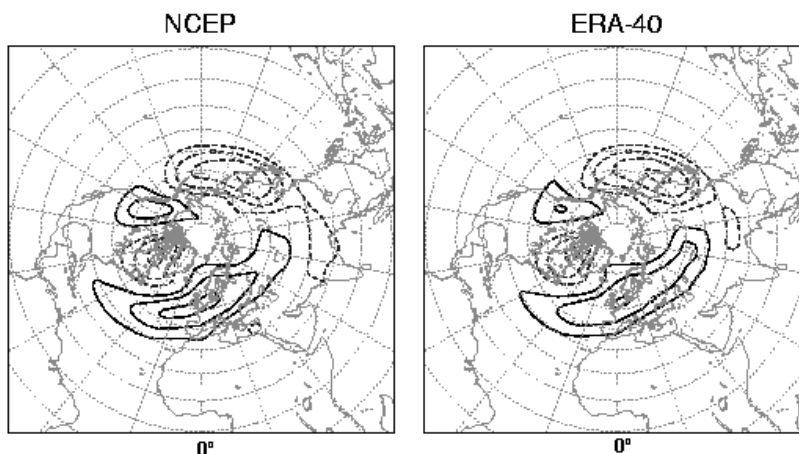


Figura 2. Ondas estacionarias del campo de altura de geopotencial de 500 hPa reproducidas por los reanálisis NCEP y ERA-40. Intervalo de isolíneas: 30 m. Los valores negativos se representan con líneas de trazos.

NCEP y ERA-40 son atribuibles en parte, a las diferencias encontradas en los patrones de ondas estacionarias (Fig. 2).

Una vez analizado el diferente comportamiento estacional de las regiones de máxima frecuencia de bloqueo, nos centramos en el ciclo anual promedio de la frecuencia media de bloqueo. La Fig. 3 muestra los diagramas Hovmöller del ciclo anual de la frecuencia de bloqueo media mensual según los reanálisis NCEP y ERA-40, diagramas que reflejan la complejidad de las variaciones de la climatología de bloqueo con la longitud.

En los reanálisis NCEP se detecta un máximo durante el invierno desde octubre a abril sobre el área euro-atlántica, bastante amplio en longitud, con máximos valores hacia los 22.5°E de longitud. En el sector pacífico, se detecta la presencia de dos máximos de menor valor, uno centrado en torno a los 135°W y otro entre los 180°-135°W y de más corta duración temporal (no llegan a marzo). Los valores más bajos se encuentran en el verano.

Respecto a ERA-40, se observa que los máximos de la frecuencia de bloqueo son ligeramente más intensos, especialmente en la zona euro-atlántica, donde empiezan a finales de septiembre y se extienden hasta abril. En el Pacífico aparece el máximo entre los 140° y los 185° especialmente notorio en noviembre, mientras que ya en enero existe un único máximo en las proximidades de 180°.

4.2. VARIABILIDAD INTERANUAL DE LA FRECUENCIA MEDIA DE BLOQUEO

El interés por analizar la variabilidad interanual de la frecuencia de bloqueo radica en que si se observan diferencias notables entre los distintos decenios, éstas podrían interpretarse como una medida de la incertidumbre en la validación de la

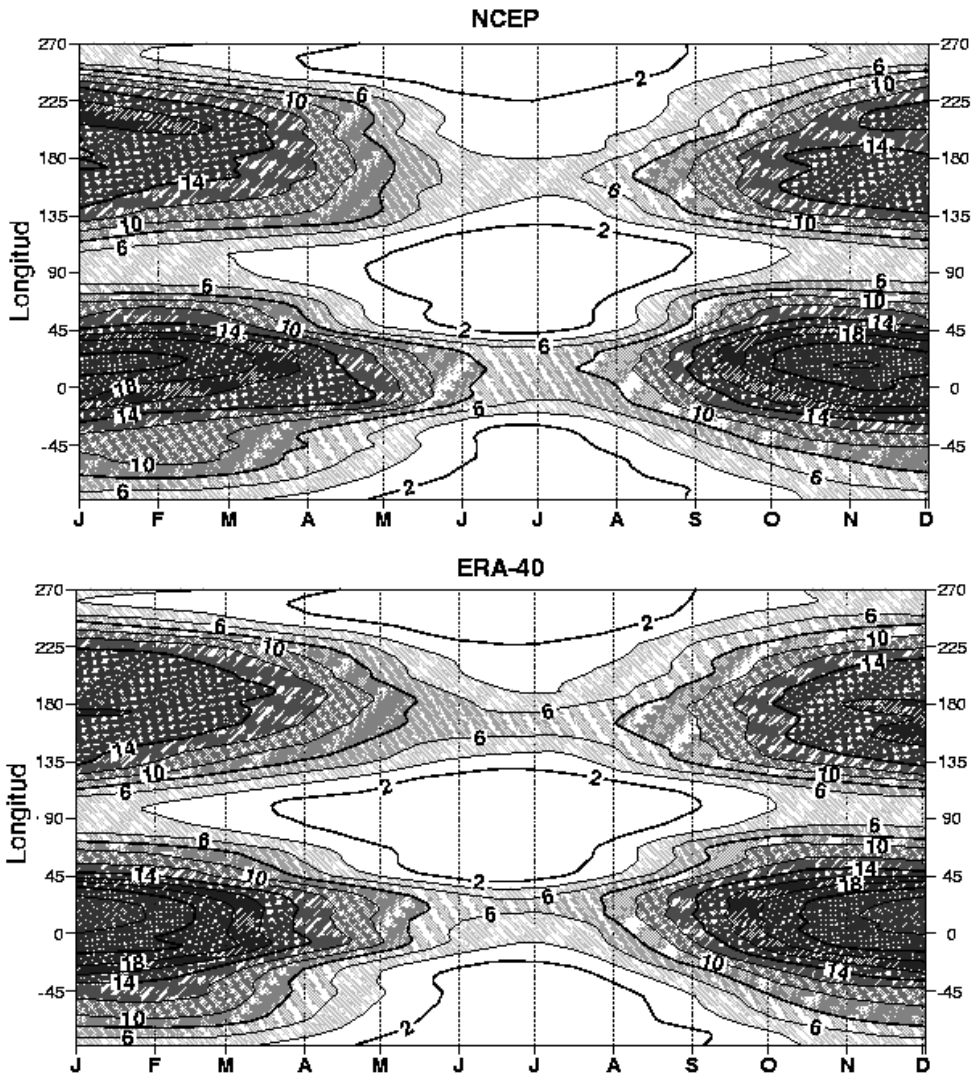


Figura 3. Diagrama Hovmöller de la frecuencia de bloqueo media mensual (%) obtenidas a partir de los reanálisis NCEP y ERA-40. Las áreas superiores al 4% están sombreadas. Intervalo de isolíneas: 2%.

representación del bloqueo en modelos climáticos (por ejemplo, en comparaciones como en el *Atmospheric Models Intercomparison Project*). La Fig. 4 muestra la frecuencia mensual de bloqueo en función del tiempo y la longitud (diagrama Hovmöller) según los reanálisis NCEP y ERA-40 para los inviernos (DEF) del periodo en estudio.

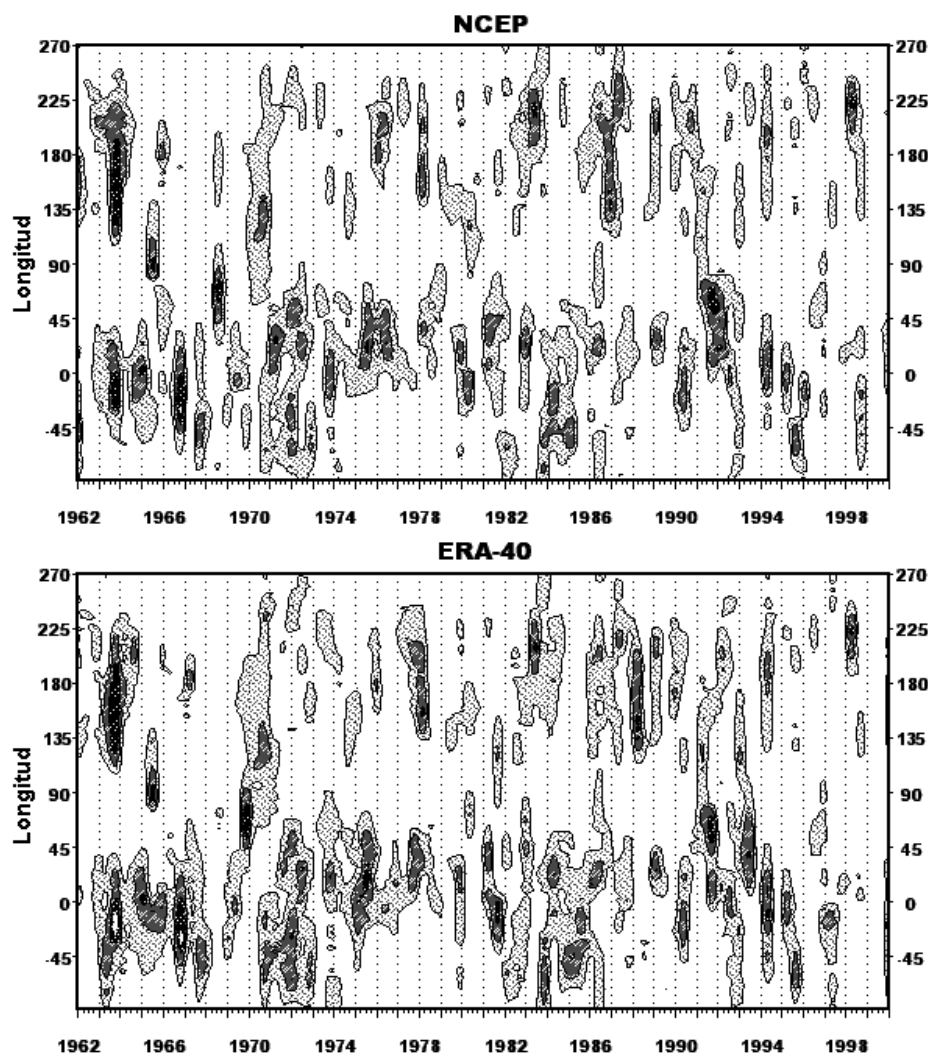


Figura 4. Diagrama Hovmöller de la frecuencia media de bloqueo (%) para los meses de invierno (DEF) a lo largo del periodo 1961-2000, a partir de los reanálisis NCEP y ERA-40. Intervalo de isolíneas: 20%.

Se observan variaciones notorias en escalas de tiempo interdecadales para las regiones pacífica y euro-atlántica. Así, podríamos hablar de un periodo de bloqueo particularmente activo (1961-1976) frente a otro de baja actividad (1978-1988) en la región euro-atlántica. Resultados que están en consonancia con los obtenidos por Pavan et al. (2000) que muestran un descenso de la frecuencia de las situaciones de bloqueo en Europa occidental en el periodo 1975-1990.

El período 1990-2000 resulta muy irregular, registrándose actividad de bloqueo desde 1991 a 1993, especialmente en el Atlántico y Europa, seguido por dos años sin apenas actividad, para aumentar con gran intensidad en el año 1996; invierno caracterizado por un índice de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) muy negativo en contraste con la tendencia creciente hacia un índice positivo.

Ambos reanálisis muestran características similares; si bien, se podría hablar de características ligeramente más acentuadas y compactas en ERA-40, especialmente en lo que respecta al Atlántico y Europa.

Es reseñable la gran variabilidad interanual mostrada por la frecuencia de bloqueo en el Pacífico, claramente conectada con episodios cálidos de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) como los correspondientes a los inviernos 1963-1964, 1968-1969, 1982-1983 y 1991-1992.

Hurrell (1996) observó que la década de 1960, caracterizada por un bajo índice de la NAO (es decir, fuertes anomalías negativas del geopotencial en superficie sobre las Azores) resultó ser un período de bloqueos invernales muy frecuentes en el Atlántico Occidental. Más recientemente, Shabbar et al. (2001) han mostrado que tanto la frecuencia como el tiempo de vida de los episodios de bloqueo en la región del Atlántico Norte guarda relación con la fase de la NAO, resultando ser más frecuentes y más largos con bajo índice.

Prosiguiendo la línea de investigación centrada en las conexiones posibles entre la frecuencia del bloqueo y los modos de variabilidad atmosférica, analizamos la relación de la frecuencia de bloqueo calculada para aquellos días en los que la componente principal estandarizada del geopotencial asociada con cada patrón es mayor que 0.67 o inferior a -0.67. Se constata la sensibilidad de la frecuencia de bloqueo a la fase de ciertos patrones de teleconexión atmosférica como son el Atlántico Oriental (EA), el patrón Escandinavo (SCA) y la NAO. En el caso de la fase negativa de la NAO, la frecuencia de bloqueo aumenta claramente en la zona atlántica con un máximo en las proximidades de los 50°W. En cuanto a la fase positiva de la NAO, la frecuencia de bloqueo es menor y encontramos que el máximo se encuentra desplazado hacia el Este. Este comportamiento podría explicar parte de la asimetría del patrón de la NAO mencionada por Cassou et al. (2004). Aunque menos estudiados, se ha comprobado que un tipo similar de relación se repite en patrones como el SCA y el EA. Se ha constatado la evidencia para la zona del Atlántico y Europa de la relación entre el bloqueo y los episodios de La Niña (Cassou et al. 2004). Análogamente a los resultados de la sección anterior, hay una gran similitud en los resultados obtenidos con ambos reanálisis.

En el Pacífico, existe una variabilidad interanual de bloqueo importante, relacionada con el ciclo ENSO y el patrón Pacífico-América del Norte (PNA) como ya advirtieron Renwick y Wallace en 1996 en la región de Alaska y Pacífico Norte, y más recientemente, Huang et al. (2002) al señalar la estrecha conexión existente entre la variabilidad interanual y decadal del bloqueo invernal del Pacífico Norte, el PNA y las trayectorias de tormenta.

5. CONCLUSIONES

El bloqueo atmosférico contribuye de manera significativa a la variabilidad de baja frecuencia de la atmósfera extratropical. El presente estudio analiza la forma

en que los reanálisis NCEP y ERA-40 representan ciertas características de la frecuencia media de bloqueo, incluyendo su variación estacional e interanual y las diferencias obtenidas entre las dos bases de datos. Entre las características más relevantes figuran:

- a) Se observan dos regiones de máxima frecuencia de bloqueo en la regiones euro-atlántica y pacífica con una clara evolución estacional que depende de la región considerada. Aunque tanto NCEP como ERA-40 muestran, en líneas generales, características muy similares, las pequeñas diferencias podrían atribuirse en parte a la diferencia en la estructura reproducida de las ondas estacionarias.

Los valores mayores de la frecuencia de bloqueo mensual se presentan en la región euro-atlántica que tiene una evolución estacional clara, con máximos en ERA-40 ligeramente más intensos y de más duración temporal (finales de septiembre hasta abril) que los correspondientes al NCEP. En el sector pacífico, los máximos muestran menor duración temporal (de octubre hasta marzo).

- b) La frecuencia de bloqueo presenta una gran variabilidad interanual. Se ha identificado un período de bloqueo particularmente activo (1961-1970) frente a otro de baja actividad (1980-1990), principalmente en la región euro-atlántica, en concordancia con trabajos muy recientes (Pavan et al. 2000; Shabbar et al. 2001). Ambos reanálisis muestran rasgos similares si bien se podría hablar de características más acentuadas en ERA-40. La evolución interanual y decadal de la frecuencia de bloqueo en la región euro-atlántica podría atribuirse en gran medida a la relación existente con la NAO, el EA, el SCAN y otros modos de variabilidad atmosférica. De acuerdo con el trabajo de Shabbar et al. (2001) se apunta a la existencia de una relación entre los períodos caracterizados por una fase negativa de la NAO y períodos de bloqueos invernales frecuentes. Existe una variabilidad interanual de bloqueo importante en el Pacífico donde desempeñan un papel fundamental ciertas teleconexiones como el PNA y ENSO.

Los resultados subrayan la complejidad de un fenómeno como el bloqueo atmosférico que manifiesta diferencias regionales muy marcadas e importante variabilidad interanual y decadal, relacionada con los principales modos de variabilidad del Sistema Climático. Se contempla en un futuro la posibilidad de proseguir los estudios en décadas seleccionadas, con especial dedicación a aquellos períodos en los que pudiera existir una sincronización parcial entre el Pacífico y el Atlántico, así como la posible relación de bloqueo simultáneo con la Oscilación del Ártico (AO).

6. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que han desarrollado los reanálisis NCEP y ERA-40.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASADO, M. J.; F. J. DOBLAS-REYES & M. A. PASTOR (2002). Estudio de la variabilidad atmosférica en la región euro-atlántica en invierno: relación entre patrones de teleconexión, frecuencia de bloqueo y tipos de tiempo. *Nota técnica número 6* del Servicio de Variabilidad y Predicción del Clima (INM) Ministerio de Medio Ambiente. 17 pp.
- CASSOU, C.; L. TERRAY, J. W. HURRELL & C. DESER (2004). North Atlantic winter climate regimes: spatial asymmetry, stationarity with time and oceanic forcing. *J. Climate*, 17, 1055-1068.
- D'ANDREA, F.; S. TIBALDI, M. BLACKBURN, G. BOER, M. DÉQUÉ, M. R. DIX, B. DUGAS, L. FERRANTI, T. WASAKI, A. KITOH, V. POPE, D. RANDALL, E. ROECKNER, D. STRAUS, W. TERN, H. VAN DEN DOOL & D. WILLIAMSON (1998). Northern Hemisphere atmospheric blocking as simulated by 15 atmospheric general circulation models in the period 1979-1988. *Climate Dyn.*, 14, 385-407.
- DOBLAS-REYES, F. J.; M. J. CASADO & M. A. PASTOR (2002). Sensitivity of the Northern Hemisphere blocking frequency to the detection index. *J. Geophys. Res.*, 107, D2,10.1029/2000JD000290.
- HUANG, F.; F. X. ZHOU & X. D. QUIAU (2002). Interannual and decadal variability of North Pacific blocking and its relationship to SST teleconnection and storm track. *Adv. Atmos. Sci.*, 19, 807-819.
- HURRELL, J. W. (1996). Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature. *Geophys. Res. Lett.*, 23, 665-668.
- KALNAY, E.; M. KANAMITSU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. HANDIN, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLLEN, Y. ZHU, M. CHELLIAH, W. EBISUZAKI, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K. C. MO, C. ROPELEWSKI, J. WANG, A. LEETMAA, R. RENOLDS, R. JENNE & D. JOSEPH (1996). The NCEP / NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.
- PAVAN, V. & F. J. DOBLAS-REYES (2000). Multi-model seasonal forecasts over the Euro-Atlantic: Skill scores and dynamic features. *Climate Dyn.*, 16, 611-625.
- PAVAN, V.; F. MOLteni & C. BRANKOVIC (2000). Seasonal prediction of blocking frequency: Results from winter ensemble experiments. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 126, 2125-2142.
- PELLY, J. L. & B. J. HOSKINS (2003). A new perspective on blocking. *J. Atmos. Sci.*, 60, 743-755.
- RENWICK, J. A. & J. M. WALLACE (1996). Relationships between North Pacific wintertime blocking, El Niño and the PNA pattern. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 2071-2076.
- REX, D. F. (1950). Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate, I. An aerological study of blocking. *Tellus*, 2, 196-211.
- SCHWIERZ, C.; M. CROCI-MASPOLI & H. C. DAVIES (2004). Perspicacious indicators of atmospheric blocking. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L06125, doi:10.1029/2003GL019341.
- SHABBAR, A.; J. HUANG & K. HIGUCHI (2001). The relationship between the wintertime North Atlantic Oscillation and blocking episodes in the North Atlantic. *Int. J. Climatol.*, 21, 355-369.
- TIBALDI, S. & F. MOLteni (1990). On the operational predictability of blocking. *Tellus Serie A.*, 42, 343-365.
- TIBALDI, S.; E. TOSI, A. NAVARRA & L. PEDULLI (1994). Northern and Southern Hemisphere seasonal variability of blocking frequency and predictability. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 1971-2003.

- TIBALDI, S.; F. D'ANDREA, E. TOSI & E. ROECKNER (1997). Climatology of Northern Hemisphere blocking in the ECHAM model. *Climate Dyn.*, 13, 649-666.
- TRACTON, M. S. (1990). Predictability and its relationship to scale interaction processes in blocking. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 1666-1695.
- UPPALA, S. (2002). ECMWF reanalysis 1957-2001. *ERA-40 Project Series 3 Workshop on Reanalysis*. ECMWF, Reading (Reino Unido). 62 pp.
- VAUTARD, R. (1990). Multiple weather regimes over the North Atlantic: Analysis of precursors and successors. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 2056-2081.

